

# Entreprises adaptatives, détermination des prix et répartition du revenu dans un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène

Pascal Seppecher \*

4 mars 2012

## Résumé

Ce papier présente un modèle macroéconomique qui associe étroitement théorie de la monnaie endogène et approche multi-agents. C'est un modèle décentralisé, peuplé d'agents multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents qui interagissent simultanément dans les sphères réelle et monétaire. Les propriétés macroéconomiques du modèle ne sont pas postulées, ce sont des propriétés émergentes du système complexe formé par les interactions entre les agents.

Nous dotons les entreprises de capacité d'adaptation, alliant imitation et innovation, pour déterminer les prix sur le marché des biens. Par une série de simulations, nous observons l'évolution des comportements des entreprises et leur impact sur la dynamique macroéconomique, en particulier sur le partage du revenu entre salaires et profits.

*JEL codes : C63, D49, D83, E25, E31*

*Mots clés : Monetary macroeconomics, income distribution, endogenous money, pricing, markup, decentralized markets, heterogenous agents, agent-based modeling, bounded rationality, learning, hard optimization, genetic algorithms, Nelder-Mead algorithm, complex adaptive system.*

---

\*Université de Nice Sophia Antipolis (France). Email : [pascal.seppecher@unice.fr](mailto:pascal.seppecher@unice.fr).

Understanding the nature of the behavior through time of economic forces may someday become synonymous with being able to program and simulate the processes determining the behavior of these variables.

---

Cohen (1960)

## 1 Introduction

En croisant l’approche multi-agents et avec les principes de la théorie de la monnaie endogène, nous avons construit un modèle informatique peuplé d’agents multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents qui interagissent simultanément dans les sphères réelle et monétaire (Seppecher 2009, Seppecher 2012b). Toute la monnaie qui circule dans le modèle est une monnaie de crédit, créée par le crédit bancaire pour le financement de la production. Les marchés (marché des biens, marché du travail) ne sont rien d’autre que des lieux où les agents (entreprises, ménages) établissent des relations directes et décentralisées. Les agents n’ont accès à aucune information macroéconomique.

Parmi les propriétés émergentes de ce modèle, l’une des plus remarquables est la stabilité de long terme de la répartition du revenu entre salaires et profits, elle-même étroitement liée à la stabilité macroéconomique du modèle. Pour comprendre cette émergence, nous avons soumis le modèle à plusieurs séries d’expériences. Dans une première série d’expériences, nous nous sommes intéressé au rôle joué par le comportement du secteur bancaire. Nous avons ainsi montré qu’un dysfonctionnement bancaire, en permettant la formation d’une bulle de créances irrécouvrables, pouvait conduire à une déstabilisation du système (Seppecher 2010). Dans une deuxième série d’expériences, nous nous sommes intéressé au rôle joué par le comportement des ménages sur le marché du travail. Nous avons ainsi ainsi montré que l’augmentation de la flexibilité des salaires pouvait enclencher une spirale déflationniste conduisant à une crise systémique (Seppecher 2012a).

Nous nous intéressons à présent au rôle joué par le comportement des entreprises lors de la détermination du prix de vente de leur production. Pour

cela, on définit deux techniques de détermination des prix : l’une basée sur la demande constatée (*demand-based-pricing*), l’autre basée sur les coûts de production (*cost-plus-pricing*). Les entreprises cherchent à réaliser un profit supérieur en explorant différentes stratégies combinant ces deux méthodes. Nous dotons les entreprises de capacité d’imitation et d’innovation. Les entreprises les moins profitables abandonnent leur stratégie et la remplacent par de nouvelles stratégies imitant et dépassant les stratégies des entreprises les plus profitables. Par une série de simulations, nous observons l’évolution des comportements des entreprises et leur impact sur la dynamique macroéconomique, en particulier sur le partage du revenu entre salaires et profits.

## 2 Modèle

Le lecteur intéressé pourra consulter les papiers que nous avons consacré à la construction du modèle (Seppecher 2009, Seppecher 2012b), nous nous contentons ici d’en donner une description rapide à travers le déroulement d’une période de base (section 2.1).

Toutefois, dans ces premières versions du modèle, les entreprises étaient dotées de fonction de comportements simples ; ces comportements réactifs étaient identiques pour toutes les entreprises. Nous étudions à présent la possibilité pour chaque entreprise d’élaborer sa propre stratégie pour fixer son prix sur le marché des biens (section 2.2).

Les entreprises sont dotées de capacité d’adaptation. Elles observent les stratégies et les résultats des autres entreprises, et s’en inspirent pour créer de nouvelles stratégies plus profitables (section 2.3).

### 2.1 Description du modèle

#### 2.1.1 Principes

L’économie modélisée est :

une *économie de marchés décentralisés* : les entreprises et les ménages sont des individus (et non des agrégats ou des agents représentatifs) qui « interagissent les uns avec les autres sans aucun contrôle supérieur » (Robinson 1962, p. 34), ni de la part d’un planificateur, ni de la part d’un commissaire-priseur ;

- une *économie monétaire de production* : le processus de production prend du temps et les entreprises ont besoin de finance pour lancer ce processus, essentiellement pour le paiement des salaires (Keynes 1923 [1971], Graziani 2003a, Godley et Lavoie 2007) ;
- une *économie avec monnaie endogène* : la monnaie n'est pas une marchandise mais un nombre inscrit sur les livres de compte de la banque, elle est créée par le crédit bancaire selon le principe « les crédits font les dépôts » (Graziani 2003b, p. 82). L'initiative de la création monétaire « appartient d'abord aux clients des banques » (Le Bourva 1959, p. 721). Dans une telle économie, la quantité de monnaie qui circule « est déterminée de manière *endogène* par la demande de crédit bancaire émanant des forces du marché » (Moore 2003, p. 41) ;
- une *économie d'entrepreneurs* : les entreprises sont guidées par le motif de profit, et ce profit est monétaire. Chaque entreprise « n'a d'autre objectif que d'obtenir au bout du compte plus d'argent qu'[elle] n'en avait au départ » (Keynes 1933 [1979], p. 89).

Nous nous appuyons, pour la construction du modèle, sur les techniques informatiques de l'approche multi-agents (« agent-based computational economics »). Selon cette approche, que l'on peut qualifier de « générative » (Epstein 1999) ou de « constructiviste » (Tessfatsion 2006), la compréhension des phénomènes macroéconomiques émergents passe par leur reconstruction à partir des interactions élémentaires qui en sont à l'origine. Concrètement, le modèle macroéconomique se présente comme un grand nombre de modèles microéconomiques en interaction, sortes d'automates informatiques représentant chacun un agent économique du monde réel. Notre modèle comporte ainsi plusieurs milliers de ménages (2100 dans les simulations présentées plus loin), plusieurs centaines d'entreprises (250 dans ces mêmes simulations), mais — dans sa version actuelle — une seule banque représentative de l'ensemble du secteur bancaire.

### 2.1.2 Période de base du modèle

La période de base du modèle est égale à un mois, durée séparant deux paiements consécutifs des facteurs de production. La figure 1 (page 5) donne une représentation de la séquence des interactions monétaires entre les agents au sein d'une période de base.

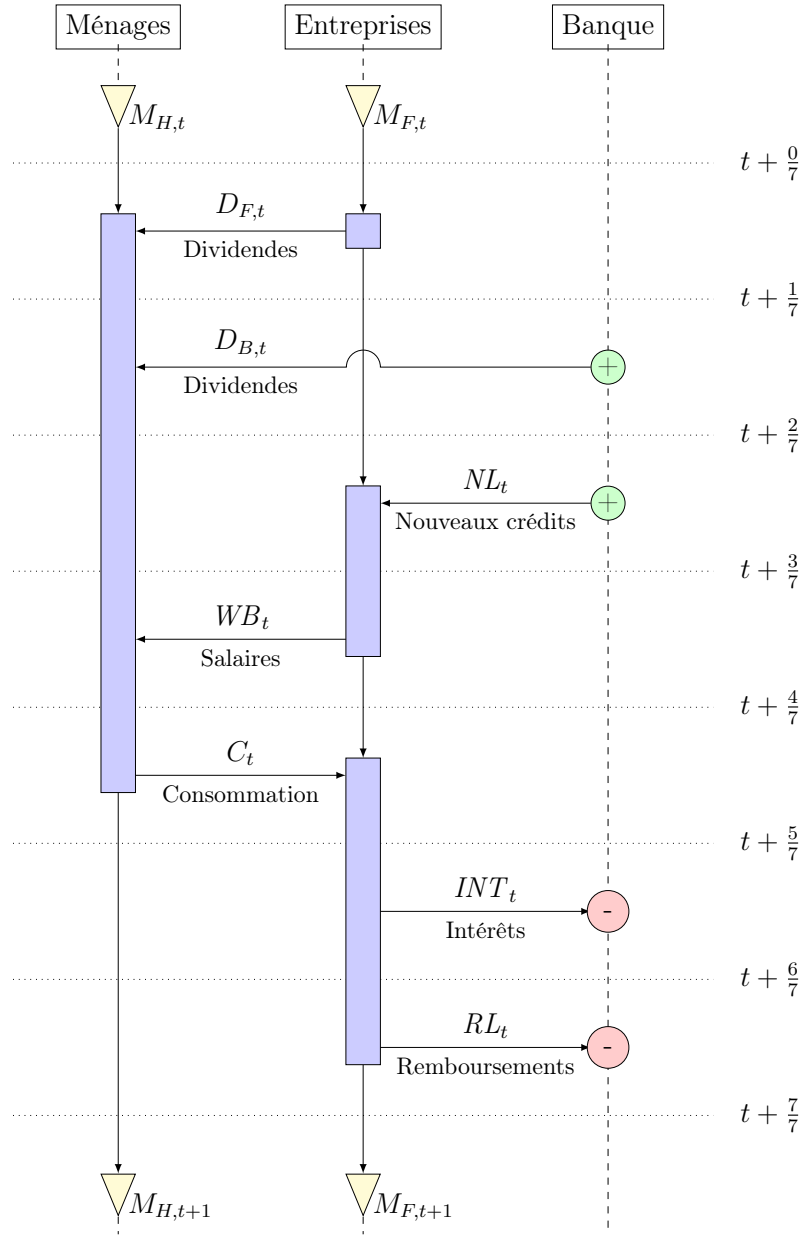


FIGURE 1 – Diagramme de séquence des interactions monétaires

**Distribution des profits :** La période  $t$  s'ouvre par le paiement des dividendes par les entreprises (entre l'instant  $t + \frac{0}{7}$  et l'instant  $t + \frac{1}{7}$ ) et par la banque (entre l'instant  $t + \frac{1}{7}$  et l'instant  $t + \frac{2}{7}$ ) à leurs propriétaires (certains ménages désignés arbitrairement au début de la simulation). Ces dividendes sont calculés sur la base des profits accumulés lors des périodes précédentes. La part non distribuée de ces profits est conservée pour l'autofinancement de la production.

**Planification et financement de la production :** Les entreprises préparent ensuite leur plan de production pour la période (entre l'instant  $t + \frac{2}{7}$  et l'instant  $t + \frac{3}{7}$ ). Selon le niveau du stock de produit hérité de la période précédente, elles décident d'augmenter ou de baisser le niveau de la production. C'est aussi le moment où l'entreprise décide d'augmenter ou de baisser le prix unitaire de sa production. La section 2.2 expose de façon détaillée les stratégies mises en oeuvre par les entreprises à cette occasion.

Une fois le niveau de production décidé, les entreprises peuvent calculer la masse salariale nécessaire et leur besoin de financement externe. Elles s'adressent alors à la banque qui leur accorde le crédit demandé. Conformément aux principes de la monnaie endogène, la monnaie prêtée est créée par la banque.

**Production :** Une fois le financement de la production assuré, les entreprises passent à la phase de production (entre l'instant  $t + \frac{3}{7}$  et l'instant  $t + \frac{4}{7}$ ). Elles commencent par évaluer leur besoin de main d'oeuvre, en accord avec leur plan de production. Selon le nombre d'emplois vacants, elles postent leurs offres d'emploi sur le marché du travail. Chaque entreprise fait évoluer son salaire d'embauche en fonction des difficultés rencontrées pour trouver de la main d'oeuvre au cours des périodes précédentes.

Les ménages sans emploi consultent un nombre limité d'offres, répondent à la meilleure de ces offres, sous réserve que le salaire proposé dépasse le salaire de réservation. Le salaire de réservation est propre à chaque ménage. Il dépend du dernier salaire perçu et s'abaisse avec la durée passée au chômage. Les ménages embauchés sont payés et travaillent sur les machines des entreprises. Le produit de la période est ajouté au stock de l'entreprise.

**Écoulement de la production :** Les entreprises cherchent ensuite à écouler leurs stocks de produit (entre l'instant  $t + \frac{4}{7}$  et l'instant  $t + \frac{5}{7}$ ). Chaque

entreprise poste son offre, associant un volume de marchandise à un prix unitaire, sur le marché des biens.

Les ménages établissent leur budget partageant leurs ressources entre consommation et épargne. Puis ils se portent sur le marché des biens consultent un nombre limité d'offres, sélectionnent la plus intéressante, et achètent la marchandise qu'ils consomment immédiatement.

**Païement de l'intérêt et recouvrement des créances** La banque procède alors au prélèvement de l'intérêt sur les crédits en cours (entre l'instant  $t + \frac{5}{7}$  et l'instant  $t + \frac{6}{7}$ ) et au recouvrement des créances échues (entre l'instant  $t + \frac{6}{7}$  et l'instant  $t + \frac{7}{7}$ ). Ce reflux de la monnaie vers la banque est une destruction de monnaie.

Si une entreprise ne parvient pas à rembourser sa dette à l'échéance, sa note est dégradée. Elle bénéficie d'un nouveau prêt, qu'elle devra impérativement rembourser à l'échéance suivante, sous peine d'être mise en faillite et de disparaître. En cas de faillite, il revient à la banque d'effacer les dettes de l'entreprise faillie en puisant sur ses fonds propres.

## 2.2 Procédures de fixation des prix par les entreprises sur le marché des biens

### 2.2.1 Rationalité procédurale

La place manque ici pour donner la description de chacune des fonctions de comportement assignées aux agents qui peuplent le modèle. Disons simplement que la logique générale de ces fonctions est celle de la « rationalité procédurale » (Simon 1996) qui consiste à mettre en oeuvre des *heuristiques*, c'est-à-dire des méthodes simples mais efficaces (« rules of thumb ») qui, à l'image des routines effectivement mises en oeuvre par les agents du monde réel, permettent de réduire la complexité de la décision et l'incertitude quant à son résultat (Cyert et March 1963). Ces heuristiques combinent deux types de mécanismes : « les mécanismes homéostatiques qui rendent le système relativement insensible aux variations de l'environnement et l'ajustement par feedback rétrospectif aux variations de cet environnement » (Simon 2004, p. 265–266).

### 2.2.2 Procédures concurrentes d’ajustement des prix

Lorsqu’il s’agit d’appliquer les principes de rationalité procédurale aux mécanismes d’ajustement des prix par les entreprises, nous nous trouvons placé devant l’alternative suivante :

- soit baser l’ajustement des prix sur l’observation des stocks d’inventus (procédure que nous nommerons *demand-based-pricing*), un stock élevé indiquant un excès de l’offre sur la demande et conduisant l’entreprise à baisser son prix, un stock faible conduisant inversement à l’élever (Duménil et Lévy 1987),
- soit baser l’ajustement des prix sur l’observation des coûts (procédure que nous nommerons *cost-plus-pricing*), l’entreprise cherchant à maintenir une marge constante (Lavoie 1992).

Dans les premières versions du modèle (Seppecher 2009, Seppecher 2010, Seppecher 2012a, Seppecher 2012b), nous avons choisi, pour des raisons de simplicité de mise en oeuvre, la procédure du *demand-based-pricing*. Cependant, cette procédure pose une difficulté : elle est incompatible avec la notion d’*économie d’entrepreneur* selon laquelle les entreprises ont pour objectif, non d’atteindre l’équilibre de l’offre et de la demande réelles, mais de réaliser un profit monétaire le plus élevé possible. D’un autre côté, la procédure du *cost-plus-pricing*, bien qu’ouvertement orientée vers la réalisation d’un profit monétaire, laisse indéterminé le niveau de markup que les entreprises cherchent à atteindre.

Si la technique du markup est souvent utilisée dans les modèles macroéconomiques multi-agents pour modéliser le comportement de fixation des prix par les entreprises, la question de la détermination du niveau du markup pratiqué est généralement résolue en fixant arbitrairement ce niveau (Dosi, Fagiolo, et Roventini 2005, Howitt 2008, Dawid, Gemkow, Harting, et Neugart 2009) ou, au mieux, en utilisant une procédure *ad hoc* (Dosi, Fagiolo, et Roventini 2008). Il ne peut être question pour nous d’utiliser de telles simplifications qui conduisent le modélisateur à énoncer lui-même la loi qui régit le partage du revenu global entre salaires et profits. Selon la démarche constructiviste que nous avons adoptée, il s’agit au contraire de chercher à comprendre la dynamique de la répartition des revenus par la reconstruction des conditions son émergence à partir des causalités économiques élémentaires : les interactions directes et indirectes entre des agents autonomes et concurrents.



### 2.2.3 Endogénéisation des procédures de détermination des prix

Selon Farmer et Geanakoplos (2009, p. 17), l’alternative à l’utilisation de règles simples pour modéliser le comportement des agents est l’introduction d’un modèle d’apprentissage. Nous décidons donc de déléguer aux entreprises elles-mêmes l’élaboration de stratégies de fixation des prix selon un processus d’apprentissage évolutionniste (Nelson et Winter 1982) : les entreprises restent dotées de règles simples (heuristiques) de fixation des prix, mais ces règles sont modifiées peu à peu selon un processus évolutionniste dont le critère de sélection est le niveau des profits effectivement réalisé.

Un tel processus évolutionniste renvoie à la notion de *méta-heuristique* (Glover 1986). Les méta-heuristiques sont nombreuses et hétérogènes ; elles forment une classe de méthodes approximatives conçues pour affronter des problèmes d’« optimisation difficile » face auxquels les heuristiques classiques se sont montrées inefficaces (Osman et Kelly 1996). Parmi ces méta-heuristiques, les algorithmes génétiques, développés à l’origine par Holland (1975), sont intéressants pour notre projet car ils reposent, comme la théorie évolutionniste de Nelson et Winter, sur l’analogie avec les principes d’évolution par sélection naturelle. Les algorithmes génétiques sont d’ailleurs souvent jugés particulièrement pertinents pour modéliser les processus d’adaptation ou d’apprentissage dans les contextes économiques complexes propres aux modèles peuplés d’agents multiples (Arifovic 2000, Vallée et Yildizoglu 2001, Brenner 2006).

Cependant, parce que les algorithmes génétiques ont été conçus pour l’exploration d’espaces de solutions complexes mais figés, ils nous semblent mal adaptés à la modélisation des processus d’apprentissage dans le contexte dynamique d’une macroéconomie peuplée d’agents adaptatifs. En effet, si les agents évoluent pour s’adapter au contexte macroéconomique, cette évolution des individus est susceptible de produire un contexte macroéconomique nouveau : il y alors « co-évolution » du système et des agents qui le composent (Arthur 2006, Marks 2006), le système modélisé devient alors un « système adaptatif complexe » (Holland 1992). Un algorithme génétique est conçu pour converger une fois pour toute vers une solution satisfaisante de l’espace de recherche. Pour maintenir la capacité d’adaptation des agents tout au long de la simulation, nous développons un algorithme évolutionniste hybride, empruntant à l’algorithme du simplexe de Nelder et Mead (1965) son « opérateur de réflexion » pour orienter la recherche dans les directions les plus prometteuses.

## 2.3 Implémentation du processus d'adaptation

Les entreprises cherchent à augmenter leur profitabilité en explorant différentes stratégies combinant les deux procédures de détermination des prix, *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing*. Nous dotons les entreprises de capacité d'imitation et d'innovation. Les entreprises les moins profitables abandonnent leur stratégie et la remplacent par de nouvelles stratégies imitant et dépassant les stratégies d'entreprises plus profitables.

### 2.3.1 Codage des stratégies

Notons  $\Phi_i$  la stratégie de fixation des prix de l'entreprise  $i$ . Cette stratégie est donc définie par deux paramètres réels :

$$\Phi_i \begin{cases} \sigma_i & \text{la propension à utiliser la procédure du } \textit{cost-plus-pricing}, \\ \mu_i & \text{le markup utilisé dans la procédure du } \textit{cost-plus-pricing}. \end{cases} \quad (1)$$

A chaque période, l'entreprise  $i$  aura une probabilité  $\sigma_i$  d'utiliser la technique du *cost-plus-pricing* pour ajuster son prix. Si elle utilise cette technique, le markup visé sera égal à  $\mu_i$ . Sinon, elle utilisera la technique du *demand-based-pricing*. Les paramètres  $\mu_i$  et  $\sigma_i$  constituent en quelque sorte le « patrimoine génétique » de l'entreprise (voir Nelson et Winter 1982, p. 142) qui doit être soumis à un algorithme évolutionniste afin de modéliser ses capacités d'apprentissage.

### 2.3.2 Profitabilité

L'objectif du processus d'adaptation auquel sont soumises les entreprises est l'amélioration de leur profitabilité ; pour reprendre la terminologie des métaheuristiques, c'est la fonction de « fitness » (efficacité) à optimiser. Comme dans la version actuelle du modèle toutes les entreprises sont de même taille, cette profitabilité est simplement la somme des dividendes versés par l'entreprise au cours des 48 derniers mois.

### 2.3.3 Sélection

A chaque période, on sélectionne les entreprises soumises à l'algorithme. La méthode de sélection est celle du tournoi (« tournament selection »). On sélectionne au hasard dix entreprises parmi les entreprises peuplant la simulation. Notons  $a$  et  $b$  les entreprises les plus profitables de la sélection,

$j$  l'entreprise la moins profitable de la sélection. Notons  $\Phi_a$ ,  $\Phi_b$  et  $\Phi_j$  les stratégies de fixation des prix de chacune de ces entreprises. L'entreprise  $j$  va abandonner sa stratégie et adopter une nouvelle stratégie inspirée des stratégies  $\Phi_a$  et  $\Phi_b$ .

#### 2.3.4 Imitation

Pour simuler un processus d'imitation, on s'inspire de l'opérateur de croisement (« crossover ») des algorithmes génétiques. On calcule la stratégie  $\Phi_g$ , barycentre des stratégies  $\Phi_a$  et  $\Phi_b$ , pondérées par un facteur  $\alpha$  :

$$\Phi_g = \alpha\Phi_a + (1 - \alpha)\Phi_b \quad (2)$$

où  $\alpha$  est un facteur aléatoire dont la loi est uniformément répartie sur l'intervalle  $[0, 1]$ .

La stratégie  $\Phi_g$  est donc aléatoirement située, dans l'espace des paramètres définissant les stratégies des entreprises, sur le segment de droite  $[\Phi_a, \Phi_b]$ . La présence du facteur aléatoire  $\alpha$  permet d'accroître la diversité des stratégies générées en explorant l'intervalle des stratégies intermédiaires entre les deux stratégies imitées.

#### 2.3.5 Innovation

Si l'entreprise  $j$  adoptait simplement la stratégie  $\Phi_g$ , la population des entreprises ne pourrait jamais explorer de stratégie située en dehors de l'enveloppe convexe des stratégies initiales. Or dans le contexte dynamique et complexe qui est le nôtre, il n'y a pas de raison de penser qu'il n'existe pas de stratégie supérieure en dehors de cette enveloppe, et peut-être même très loin de celle-ci. Pour permettre aux entreprises d'explorer ces solutions lointaines — pour leur permettre d'innover — il faut alors introduire dans l'algorithme un « mécanisme analogue à la mutation génétique » (Nelson et Winter 1982, p. 306).

C'est là que notre algorithme s'écarte résolument des algorithmes génétiques traditionnels qui utilisent classiquement un opérateur de mutation gaussien pour explorer toutes les directions de l'espace des solutions. A cet opérateur de recherche purement aléatoire nous substituons un opérateur de recherche orientée, inspiré de l'opérateur de réflexion de l'algorithme du simplexe de Nelder et Mead (1965).

Pour simuler un processus d'innovation, on calcule la stratégie  $\Phi'_j$ , image de la stratégie  $\Phi_j$  par l'homothétie  $h$  de centre  $\Phi_g$  et de rapport  $k = -|\gamma|$ ,  $\gamma$  étant une variable aléatoire gaussienne d'espérance nulle. En adoptant la stratégie  $\Phi'_j$ , l'entreprise  $j$  fait l'hypothèse que les entreprises  $a$  et  $b$  lui donnent la direction dans laquelle existent des stratégies supérieurement profitables. Le rapport  $k$  peut être considéré comme la mesure de l'audace de l'entreprise, audace qui la conduit à tenter de dépasser le comportement moyen modèle  $\Phi_g$ .

### 2.3.6 Itération

Chaque mois, ce processus d'adaptation (sélection, imitation, innovation) est appliqué à deux entreprises. En 48 mois (durée sur laquelle est calculée la profitabilité d'une stratégie), 96 entreprises auront donc adapté leur stratégie, soit 38,4% des 250 entreprises présentes dans la simulation.

## 3 Simulations

Par une série de simulations, on explore le rôle joué par les stratégies de détermination des prix des entreprises dans l'émergence d'une stabilité macroéconomique, avec une attention particulière pour la dynamique de la répartition des revenus.

Dans une première simulation, on impose aux entreprises d'utiliser exclusivement la technique du *demand-based-pricing* (section 3.1). On observe alors, en l'absence de toute coordination centralisée, l'émergence d'une stabilité de long terme de la part des profits dans le revenu.

Dans une deuxième simulation, on permet aux entreprises de choisir entre la technique du *demand-based-pricing* et celle du *cost-plus-pricing*, tout laissant fixé à un taux très faible le markup attendu (section 3.2). On observe alors que la concurrence pousse les entreprises à adopter une stratégie mixte, modérant leurs marges et réduisant la part des profits.

Dans une troisième simulation, non seulement les entreprises peuvent choisir entre la technique du *demand-based-pricing* et celle du *cost-plus-pricing*, mais encore elles peuvent déterminer librement le niveau du markup attendu (section 3.3). On observe l'émergence d'une nouvelle stratégie dans laquelle le *cost-plus-pricing* tient une place essentielle. Néanmoins le niveau moyen des profits reste contraint par le niveau de la demande.

### 3.1 Simulation 1 (pas d'adaptation)

Dans cette première simulation, le comportement des entreprises n'évolue pas. Les comportements des entreprises sont donc simplement réactifs.

Paramètre	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
$\sigma_i$	[0%, 0%]	non	[0%, 0%]
$\mu_i$	[0%, 10%]	non	[0%, 10%]

TABLE 1 – Simulation 1, paramètres

En fixant à 0 la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* ( $\sigma_i$ ), on s'assure que les entreprises utilisent exclusivement la technique du *demand-based-pricing*. C'est donc uniquement le niveau de ses propres stocks qui gouverne le prix de chacune des entreprises et le niveau de l'objectif de markup ( $\mu_i$ ) ne joue aucun rôle dans cette première simulation.

Les principaux indicateurs macroéconomiques montrent que le système se stabilise très rapidement après le début de la simulation. Le chômage oscille entre 10 et 13%, l'inflation entre -3 et +5% (figure 2a). Le taux d'utilisation des capacités de production reste compris entre 72 et 78% (figure 2d). Les faillites sont peu nombreuses (figure 2f) et n'affectent pas sensiblement les fonds propres de la banque (figure 2e). Dans ces conditions, le markup effectif s'établit aux alentours de 65% et la part des profits s'élève à plus de 40% du revenu (figures 2g et 2h).

Pourtant, rien dans le comportement assigné aux entreprises ne permettait d'anticiper la stabilité de la répartition des revenus entre salaires et profits. Nous avons vu que les entreprises fixent les prix et les salaires de façon strictement indépendante. En particulier, chaque entreprise ignore ses coûts et peut très bien vendre sa production en dessous de son coût de production (ce dernier étant essentiellement formé par le paiement des salaires). Néanmoins, on observe que le prix moyen sur le marché des biens s'établit au dessus du coût de production à un niveau stabilisant le taux de marge moyen des entreprises et, par là, stabilisant la part des profits dans le revenu. La stabilité de long terme de la répartition des revenus entre salaires et profits, principale manifestation de l'équilibre macroéconomique du modèle, est donc une propriété émergente du modèle, témoignant de l'existence d'une coordi-

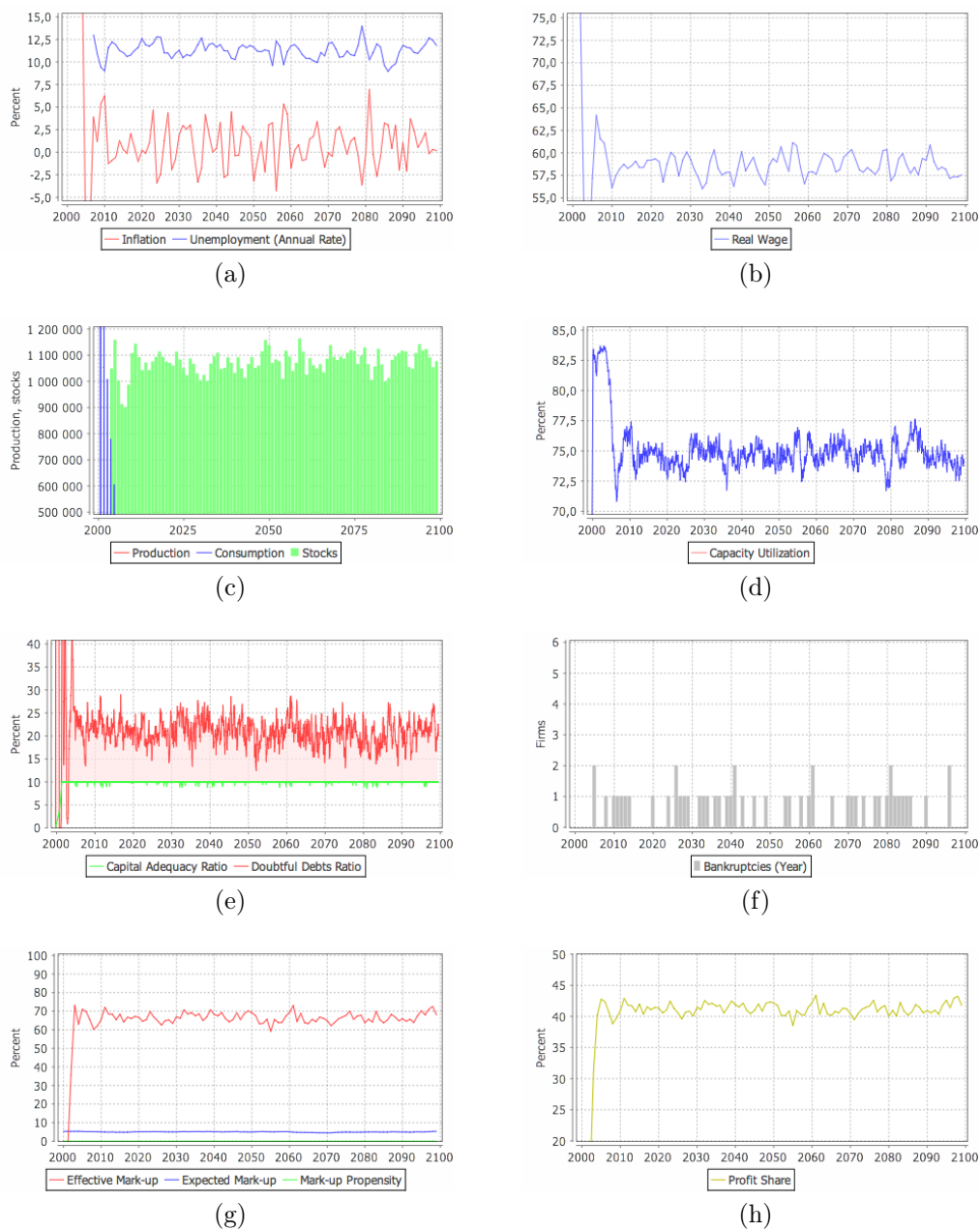


FIGURE 2 – Principaux indicateurs macroéconomiques (simulation 1, 2000-2100)

nation macroscopique entre la formation des prix sur le marché des biens et la formation des salaires sur le marché du travail.

### 3.2 Simulation 2 (adaptativité partielle)

La simulation débute avec des entreprises dont le comportement est très proche de celui des entreprises de la simulation précédente. Comme dans la première simulation, elles utilisent essentiellement le niveau des stocks comme indicateur du niveau de la demande pour décider de baisser ou d'augmenter leur prix (*demand-based-pricing*).

Cependant, les entreprises peuvent maintenant avoir recours au *cost-plus-pricing* (une fois sur 10 en moyenne). De plus, les entreprises ont la capacité de faire évoluer cette propension à utiliser le *cost-plus-pricing* ( $\sigma_i$ ), selon les processus d'imitation et d'innovation décrits dans la première partie. En revanche, le niveau du markup ( $\mu_i$ ) attendu par les entreprises lorsqu'elles utilisent la technique du *cost-plus-pricing* n'évolue pas : il est fixé à un niveau à peine positif (5% en moyenne). Avec un markup attendu aussi faible,

Paramètre	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
$\sigma_i$	[0%, 20%]	oui	[0%, 100%]
$\mu_i$	[0%, 10%]	non	[0%, 10%]

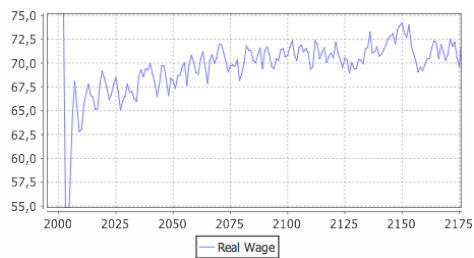
TABLE 2 – Simulation 2, paramètres

le recours occasionnel à la technique du *cost-plus-pricing* ne peut avoir pour effet, en tirant les prix vers le bas, que de modérer le markup effectif enregistré en moyenne par les entreprises. En effet, dès les premières années de la simulation, on constate que le markup effectivement constaté s'abaisse nettement en dessous des niveaux observés dans la simulation précédente (figure 3g) avec un markup effectif de 50% contre 65% dans la première simulation. La part des profits n'est plus que de 35% (figure 3h) contre plus de 40% dans la première simulation.

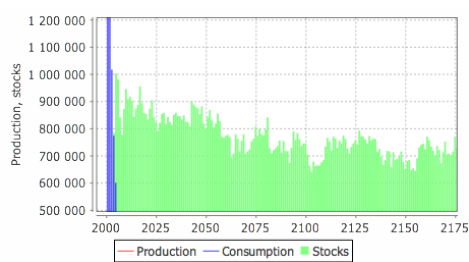
Cette modification du comportement des entreprises n'affecte pas seulement la part des profits, mais aussi l'ensemble des variables macroéconomiques du système (figures 3a à 3f). Logiquement, la modération des marges des entreprises alimente la demande et on observe une activité plus soutenue



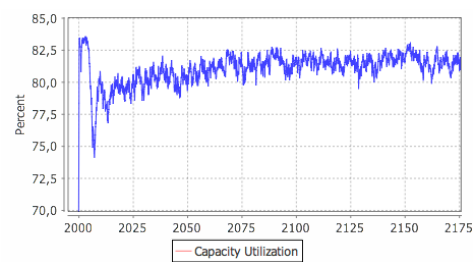
(a)



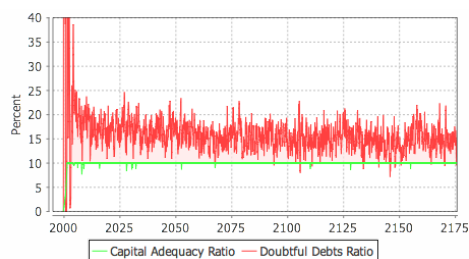
(b)



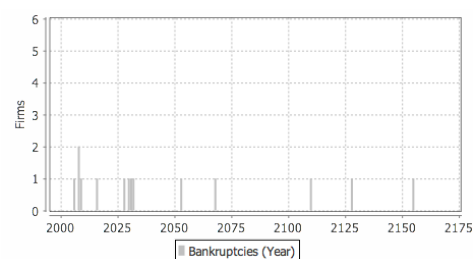
(c)



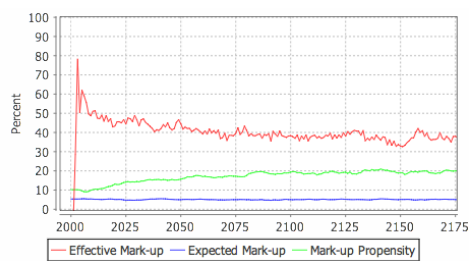
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

FIGURE 3 – Principaux indicateurs macroéconomiques (simulation 2, 2000-2175)



que dans la simulation précédente. Le taux d'utilisation des capacités de production s'élève à 80% (figure 3d) et le chômage est ramené aux environs de 5% (figure 3a). Du coup, on observe une hausse de l'inflation qui oscille entre 0 et 5%, conséquence indirecte et paradoxale de la modération des marges des entreprises.

La suite de la simulation permet d'observer une évolution du comportement des entreprises vers un recours plus fréquent à la technique du *cost-plus-pricing*. La moyenne de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing*, qui était de 10% au début de la simulation, s'élève progressivement pour atteindre 17% en 2075; elle oscille ensuite dans l'intervalle [16%, 21%]. Ce résultat est contre-intuitif; on aurait pu penser qu'avec un markup attendu fixé à un niveau si faible, les entreprises auraient tendance à réduire au maximum le recours à la technique du *cost-plus-pricing* plutôt qu'à l'augmenter. Cependant, cette élévation de propension à utiliser le *cost-plus-pricing* reste limitée : les entreprises tendent à adopter une combinaison des techniques du *cost-plus-pricing* et du *demand-based-pricing* dans laquelle la dernière continue à jouer un rôle essentiel. Dans ces conditions, et avec un niveau de markup attendu très inférieur au markup constaté, l'utilisation de la technique du *cost-plus-pricing* joue dans un seul sens, celui de la modération des prix. Ainsi, les entreprises tendent à adopter un comportement de détermination des prix dissymétrique impliquant sinon une rigidité, du moins une viscosité des prix à la hausse.

On peut se demander pourquoi les entreprises, bien que dotées d'un mécanisme d'adaptation orientée vers l'accroissement de la profitabilité, adoptent des comportements qui viennent réduire leur marge, et par là leur profitabilité moyenne. Nous interprétons cette évolution comme la conséquence de la compétition entre les entreprises. Parce que les entreprises qui pratiquent des prix moins élevés emportent des parts de marché au détriment des autres, le comportement de modération des prix faisant appel au *cost-plus-pricing* apparaît comme plus profitable. Les entreprises les plus chères sont alors poussées à imiter et même à dépasser le comportement des entreprises les moins chères. C'est ainsi que se développe un mouvement simultané d'élévation de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* et de baisse du markup effectif, et donc de baisse de la part des profits dans le revenu.

Si l'on considère le secteur des entreprises indépendamment du contexte macroéconomique, ce mouvement de baisse des profits ne semble pas devoir s'interrompre. Pourtant on observe une stabilisation progressive après 2075, avec une part des profits oscillant autour de 29% du revenu. L'éco-

nomie atteint au même moment un niveau d'activité soutenu avec un taux d'utilisation des capacités de production qui dépasse 81%. Le chômage est faible (autour de 3%) et l'inflation élevée (entre 4 et 8%). Cette hausse de l'activité explique la stabilisation de la part des profits. Lorsque la demande est telle que les entreprises ont du mal à la satisfaire, l'économie est proche de la surchauffe. La lutte pour la défense et la conquête de parts de marché devient moins aiguë. Les entreprises ont moins intérêt à tirer les prix vers le bas et la hausse de la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* s'interrompt.

La stabilisation du comportement des entreprises reste relative, les oscillations de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* montrant que les mécanismes d'adaptation restent en oeuvre, alors que la situation macroéconomique (chômage, inflation) connaît elle-même des fluctuations. Mais sur le long terme, le système paraît bien s'être stabilisé.

### 3.3 Simulation 3 (adaptativité étendue)

Dans cette troisième simulation, on laisse évoluer non seulement la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing*, mais aussi le niveau du markup attendu par les entreprises. Les comportements initiaux sont les mêmes que dans la deuxième simulation (table 3). L'évolution du comporte-

Paramètres	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
$\sigma_i$	[0%, 20%]	oui	[0%, 100%]
$\mu_i$	[0%, 10%]	oui	$[-\infty, +\infty]$

TABLE 3 – Simulation 3, paramètres

ment des entreprises suit un trajet non-linéaire, illustrant l'émergence soudaine d'une nouvelle stratégie de détermination des prix (figures 4a et 5) dont on étudie l'impact sur la part des profits (figure 4b).

Dans une première période (jusque vers 2060) la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* s'élève lentement sans que le niveau du markup attendu n'évolue sensiblement. Le déroulement de la simulation est alors très semblable à celui de la simulation précédente, dans laquelle les entreprises utilisaient de temps en temps la technique du *cost-plus-pricing* pour corriger à

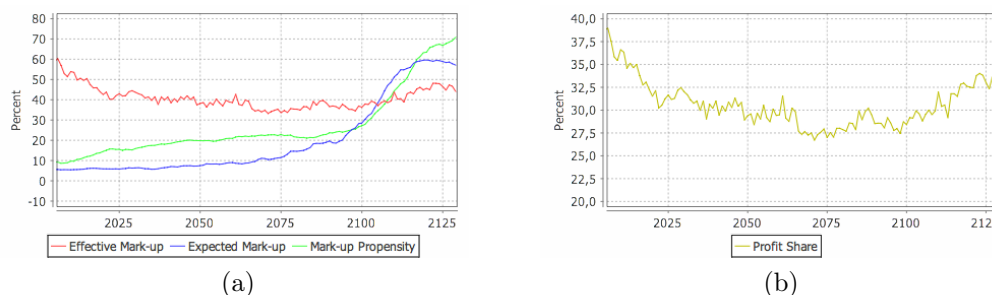
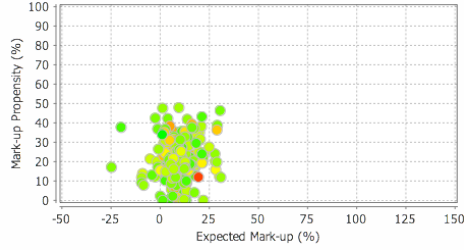


FIGURE 4 – Stratégies des entreprises et part des profits (simulation 3, 2000-2130)

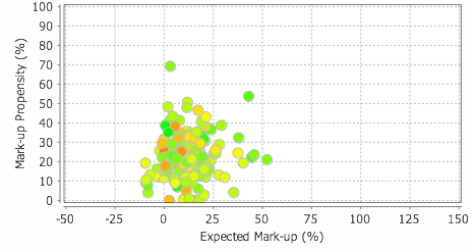
la baisse les variations de prix générées par la technique du *demand-based-pricing*. Puis, aux alentours de 2080, certaines entreprises pionnières expérimentent des niveaux de markup plus élevés, proches du markup effectif moyen (figures 5b, 5c et 5d). Ces entreprises obtiennent des profits supérieurs et sont imitées par d'autres entreprises. Vers 2100, tandis que la masse des entreprises évolue progressivement en augmentant le niveau de markup, certaines d'entre elles augmentent leur propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* (figure 5e).

La technique du *cost-plus-pricing*, combinée avec un niveau du markup attendu proche du markup moyen effectivement constaté sur le marché, apparaît comme supérieurement profitable et les premières entreprises qui ont exploré cette direction sont rapidement rejointes et dépassées par les autres (figures 5f, 5g et 5h). En 2106, le markup attendu en moyenne par les entreprises dépasse le markup effectivement constaté. En 2115, la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* dépasse 50 pour cent. L'évolution combinée de ces deux paramètres conduit à un renversement du rôle des deux techniques de détermination des prix : à présent, l'usage de la technique du *cost-plus-pricing* conduit les entreprises à pratiquer des prix supérieurs à ceux du marché, tandis que c'est le *demand-based-pricing* qui sert de modérateur. Au niveau macroéconomique, ce changement de comportement des entreprises leur permet d'améliorer le markup effectif moyen : d'environ 35% dans les années 2070, il dépasse 45% dans les années 2120. La part des profits, qui s'était abaissée à 27% du revenu, se redresse et dépasse 33% dans les années 2120.

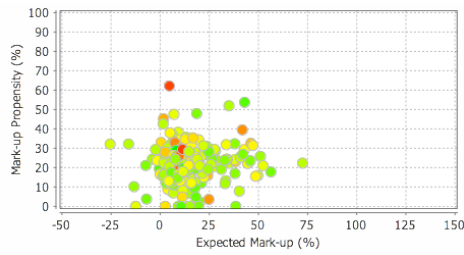
Cependant, le markup attendu interrompt sa croissance dès 2120 puis régresse ensuite lentement, suivi à partir de 2125 par le markup effectif. La



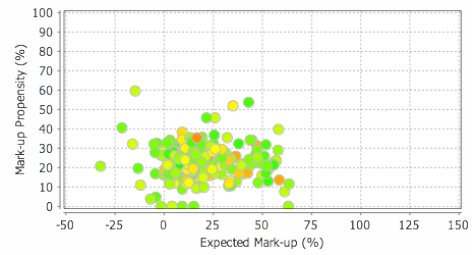
(a) 2060



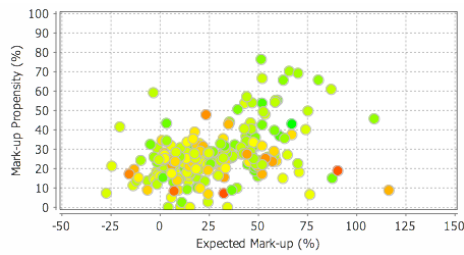
(b) 2070



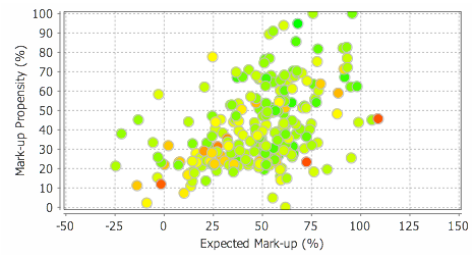
(c) 2080



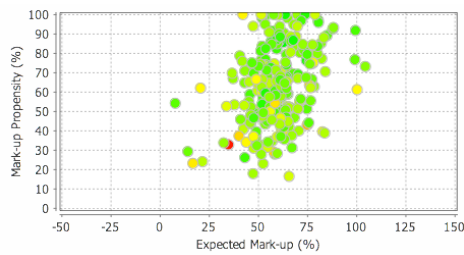
(d) 2090



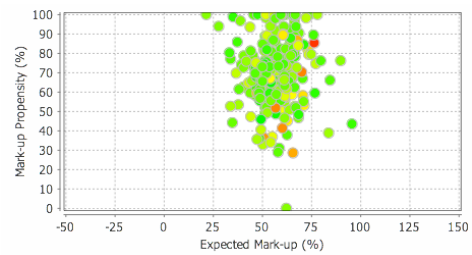
(e) 2100



(f) 2110



(g) 2120



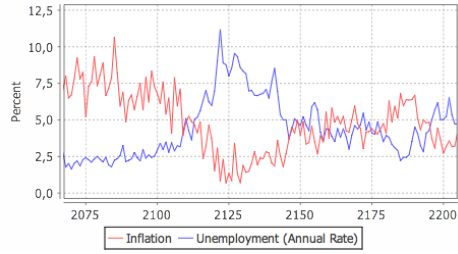
(h) 2130

FIGURE 5 – Stratégies de fixation des prix (simulation 3, 2000-2130). Les points rouges représentent les stratégies les moins profitables.

propension à utiliser le *cost-plus-pricing*, elle, continue à s'élever. L'étude des principaux indicateurs macroéconomiques vient éclairer cette évolution du comportement des entreprises. Entre 2070 et 2100 l'économie connaissait une période d'activité soutenue, avec un taux de chômage compris entre de 1.5% et 3.5% et une inflation annuelle comprise entre 4% et 11% (figure 6a). L'augmentation des marges des entreprises — et donc de la part des profits — sensible à partir de 2100, pèse sur le salaire réel (figure 6b). L'augmentation du niveau des stocks témoigne de la difficulté des entreprises à écouler leur production (figure 6c). Comme dans le même temps, les entreprises ont tendance à utiliser plus fréquemment le *cost-plus-pricing*, elles peuvent moins facilement utiliser le *demand-based-pricing* pour limiter la hausse des stocks. Elles sont donc conduites à réduire leur niveau de production (figure 6d).

Le chômage augmente tandis que l'inflation ralentit. Le ralentissement de l'activité pèse sur la demande et accroît les difficultés des entreprises. La part des créances douteuses augmente dans le bilan bancaire (figure 6e) et les faillites se multiplient (figure 6f). Si on examine de plus près chacune de ces faillites, on constate que toutes les entreprises touchées pratiquaient un markup supérieur à la moyenne. Dans ce contexte de crise et face à une demande affaiblie, les entreprises dont le markup attendu est moins élevé que la moyenne écoulent plus facilement leur production et apparaissent maintenant plus profitables. Celles dont le markup est plus élevé, si elles ont échappé à la faillite, modifient leur stratégie et abaissent à leur tour leur markup. De 2125 à 2150, le markup attendu passe de 59% à 53%, tandis que le markup effectif passe de 48% à 41%. Au cours de la même période, la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* continue à s'élever, passant de 67,5% à 82,5% (figure 6g).

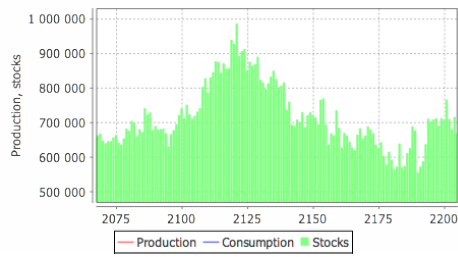
Dès 2125, la baisse du markup effectif entraîne une reprise progressive de la demande, et les stocks diminuent. Les entreprises recommencent à embaucher. Le chômage diminue et l'inflation passe de 1% en 2125 à 5% en 2150. Comme dans la deuxième simulation, la baisse de la part des profits conduit à une reprise de l'activité, reprise qui vient elle-même interrompre la baisse de la part des profits (figure 6h). Cette boucle de rétroaction négative explique la stabilisation du système observable après 2150. A partir de cette date, le markup effectif moyen oscille entre 35 et 45%, avec une part des profits comprise entre 27% et 33% du revenu — un niveau semblable à celui obtenu dans la deuxième simulation. Le markup attendu reste compris en 52,5 et 56%. La propension à utiliser le *cost-plus-pricing* reste comprise entre 82 et 90%. Au niveau macroéconomique, l'activité est soutenue, avec un taux d'utilisation



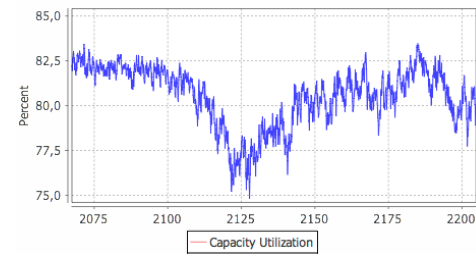
(a)



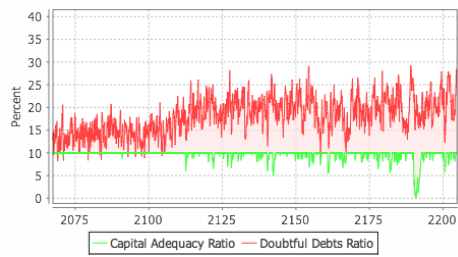
(b)



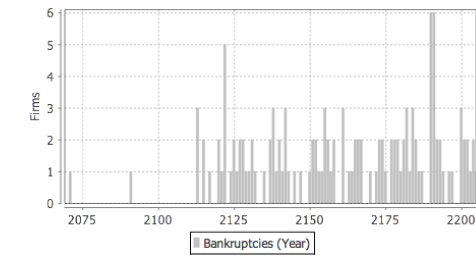
(c)



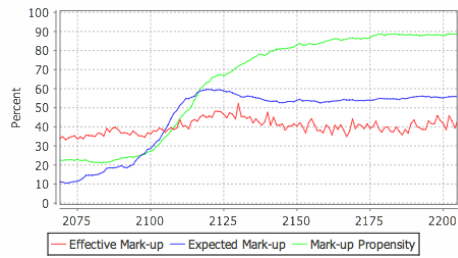
(d)



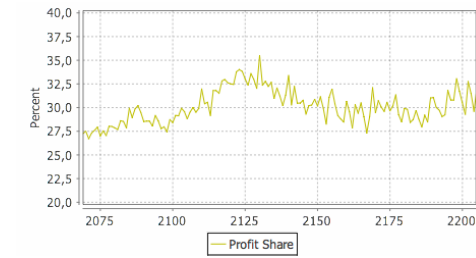
(e)



(f)



(g)



(h)

FIGURE 6 – Principaux indicateurs macroéconomiques (simulation 3, 2070-2200)

des capacités de production autour de 80%, un chômage compris entre 2,5 et 7,5%, une inflation comprise entre 2,5 et 7,5%.

Néanmoins, on observe que les faillites restent beaucoup plus fréquentes qu'elles ne l'étaient avant 2100. On impute cette fragilité au niveau élevé de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing*. Les prix des entreprises sont moins flexibles ; les entreprises s'adaptent moins facilement aux fluctuations de court terme de la demande que lorsque elles utilisaient plus fréquemment le *demand-based-pricing*.

## 4 Conclusion

Nous avons construit un modèle macroéconomique qui s'oppose radicalement aux modèles néoclassiques d'équilibre général. Il s'y oppose par la place essentielle accordée à la monnaie dans sa construction. La monnaie est d'emblée intégrée au modèle : toute transaction, sur le marché des biens comme sur le marché du travail, est simultanément réelle et monétaire. Toute la monnaie qui circule dans ce modèle est endogène : créée par le crédit bancaire pour le financement de la production, elle disparaît dans son remboursement. Ce modèle s'oppose aussi aux modèles néoclassiques par la place accordée aux agents, multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents. Les marchés ne sont rien d'autre que des lieux où les agents établissent des relations directes et décentralisées. Ce modèle est celui d'une économie dynamique et complexe ; son comportement macroéconomique n'est pas postulé, mais émerge au contraire des interactions réelles et monétaires entre les agents. La stabilité du partage du revenu entre salaires et profits constitue un aspect remarquable de ce comportement.

La première simulation était peuplée avec des entreprises simplement réactives, ajustant leurs prix selon la technique du *demand-based-pricing*. Bien que dans cette simulation chaque entreprise ignore ses coûts de production et n'utilise que le niveau de ses propres stocks pour juger du niveau de la demande, on a observé l'émergence d'un régime de prix assurant en moyenne aux entreprises une marge stable. Cette stabilité témoigne de l'existence, au niveau macroéconomique, d'un rapport stable entre le niveau de la demande agrégée et celui de la masse des salaires et donc d'un rapport stable entre profits et salaires.

La deuxième simulation était peuplée avec des entreprises adaptatives, capables de choisir entre *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing* pour amé-

liorer leur marge et distribuer plus de profits. Toutefois le markup attendu restait fixé à un niveau très faible. Cette simulation, destinée à l'origine à tester les capacités d'adaptation des entreprises, a permis d'observer tout un enchaînement d'émergences :

- la concurrence entre les entreprises les conduit à « inventer » une stratégie mixant *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing* par laquelle elles réduisent leurs marges effectives pour conquérir de nouvelles parts de marché,
- la généralisation de cette stratégie — bien qu'elle soit supérieurement profitable au niveau micro — conduit collectivement les entreprises à baisser leurs marges et donc la part des profits au niveau macro,
- la baisse de la part des profits entraîne une hausse de la demande,
- la hausse de la demande vient détendre la concurrence entre les entreprises, interrompre la baisse des marges, et stabiliser la part des profits.

La troisième simulation était celle qui laissait aux entreprises le plus de liberté dans le choix de leur stratégie, puisqu'elles pouvaient à présent non seulement choisir entre *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing*, mais aussi déterminer le niveau du markup attendu. On a observé alors l'émergence d'une nouvelle stratégie qui supprime les autres et s'impose comme une norme de comportement. Cette stratégie est dominée par le *cost-plus-pricing*, pour un markup attendu nettement supérieur au markup constaté, tandis que le *demand-based-pricing* n'a plus qu'un rôle secondaire de modérateur des prix. Ainsi la concurrence entre les entreprises, orientée vers la réalisation de profits supérieurs, les pousse-t-elle à adopter une technique de détermination des prix qui garantit une marge stable, tout en gardant une certaine flexibilité pour faire face aux variations des stocks.

On a encore observé que le niveau du markup attendu, même s'il s'élève au dessus du markup effectif, ne parvient pas à modifier celui-ci de plus de quelques points. En effet, par un mécanisme inverse de celui observé dans la deuxième simulation, l'élévation de la part des profits entraîne un affaiblissement de la demande, un accroissement de la concurrence, et donc une modération des marges des entreprises. Dès lors, l'élément stable du système paraît bien être le markup effectif, lui-même déterminé par la part des profits dans le revenu, elle-même déterminée par le niveau de la demande par rapport à la masse des salaires. Le comportement des entreprises est contraint par cette stabilité macro-économique et leur évolution les conduit à s'y conformer. Lorsque, dans la troisième simulation, les entreprises tentent collectivement d'élever le markup loin au-dessus de son niveau effectif, la hausse des



créances douteuses et la multiplication des faillites montrent que la poursuite dans cette voie ne pourrait que conduire le système à la crise.

La stabilité de la part des profits paraît donc être une propriété d'emblée macroéconomique que les changements de comportement des entreprises ne peuvent au mieux que faire fluctuer d'une dizaine de points ; dans ce modèle, au contraire des modèles kaleckiens, les entreprises ne sont pas « maîtres de leur propre destin ». Il est vrai que, dans sa version actuelle, le modèle contient un élément de stabilité exogène fort — il n'y a pas d'investissement, le stock de capital productif est constant, il n'y a pas de croissance. Le relâchement de cette hypothèse et la construction d'un modèle dynamique et complexe de croissance endogène constitue notre prochain objectif.

## Références

- ARIFOVIC, J. (2000) : “Evolutionary Algorithms in Macroeconomic Models,” *Macroeconomic Dynamics*, p. 373–414.
- ARTHUR, W. B. (2006) : “Out-of Equilibrium Economics and Agent-Based Modeling,” dans *Handbook of computational economics*, ed. L. Tesfatsion, et K. L. Judd, vol. 2, p. 1551–1564. Elsevier/North-Holland, Amsterdam.
- BRENNER, T. (2006) : “Agent Learning Representation - Advice in Modeling Economic Learning,” dans *Handbook of computational economics*, ed. L. Tesfatsion, et K. L. Judd, vol. 2, chap. 18, p. 895–947. Elsevier/North-Holland, Amsterdam.
- COHEN, K. J. (1960) : “Simulation of the Firm,” *The American Economic Review*, 50(2), 534–540.
- CYERT, R. M., ET J. G. MARCH (1963) : *A Behavioral Theory of The Firm*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- DAWID, H., S. GEMKOW, P. HARTING, ET M. NEUGART (2009) : “On the Effects of Skill Upgrading in the Presence of Spatial Labor Market Frictions : An Agent-Based Analysis of Spatial Policy Design,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 5.
- DOSI, G., G. FAGIOLO, ET A. ROVENTINI (2005) : “Animal Spirits, Lumpy Investment, and Endogenous Business Cycles,” LEM papers series, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant’Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.

- (2008) : “Schumpeter Meeting Keynes : A Policy-Friendly Model of Endogenous Growth and Business Cycles,” Working Papers 50, Università di Verona, Dipartimento di Scienze economiche.
- DUMÉNIL, G., ET D. LÉVY (1987) : “The dynamics of competition : a restoration of the classical analysis,” *Cambridge Journal of Economics*, 11, 133–164.
- EPSTEIN, J. M. (1999) : “Agent-Based Computational Models And Generative Social Science,” *Complexity*, 4(5), 41–60.
- FARMER, J. D., ET J. GEANAKOPOLOS (2009) : “The virtues and vices of equilibrium and the future of financial economics,” *Complexity*, 14(3).
- GLOVER, F. (1986) : “Future paths for integer programming and links to artificial intelligence,” *Computers & Operations Research*, 13(5), 533 – 549.
- GODLEY, W., ET M. LAVOIE (2007) : *Monetary economics, An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth*. Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- GRAZIANI, A. (2003a) : “Microéconomie et macroéconomie : à qui la priorité?,” dans *Théories monétaires Post Keynésiennes*, ed. P. Piégay, et L.-P. Rochon, p. 121–128. Economica, Paris.
- (2003b) : *The Monetary Theory of Production*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HOLLAND, J. H. (1975) : *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- (1992) : “Complex Adaptive Systems,” *Daedalus*, 121(1).
- HOWITT, P. (2008) : “Macroeconomics with Intelligent Autonomous Agents,” dans *Macroeconomics in the small and the large : essays on microfoundations, macroeconomic applications and economic history in honor of Axel Leijonhufvud*, ed. R. E. A. Farmer, p. 157–177. Edward Elgar, Cheltenham (UK), Northampton (USA).
- KEYNES, J. M. (1923 [1971]) : *A tract on monetary reform*, vol. 4 de *The collected writings of John Maynard Keynes*. St. Martin’s Press, New York.
- (1933 [1979]) : *The General Theory and After : A supplement*, vol. 29 de *The collected writings of John Maynard Keynes*. St. Martin’s Press, New York.
- LAVOIE, M. (1992) : *Foundations of Post-Keynesian Economic Analysis*. Edward Elgar, Aldershot.

- LE BOURVA, J. (1959) : “La théorie de l’inflation, le rapport des experts et l’opération de décembre 1958,” *Revue économique*, 10(5), 713–754.
- MARKS, R. (2006) : “Market Design Using Agent-Based Models,” dans *Handbook of Computational Economics*, ed. L. Tesfatsion, et K. L. Judd, vol. 2, p. 1349–1380. Elsevier/North-Holland, Amsterdam.
- MOORE, B. J. (2003) : “L’endogénéité de l’offre de monnaie : fixe-t-on le prix ou la quantité des réserves ?,” dans *Théories monétaires Post Keynesiennes*, ed. P. Piégay, et L.-P. Rochon. Economica, Paris.
- NELDER, J., ET R. MEAD (1965) : “A simplex method for function minimization,” *The Computer Journal*, 7(4), 308–313.
- NELSON, R., ET S. WINTER (1982) : *An evolutionary theory of economic change*. Belknap Press.
- OSMAN, I. H., ET J. P. KELLY (1996) : “Meta-Heuristics : An Overview,” dans *Meta-Heuristics : Theory & Applications*, ed. I. H. Osman, et J. P. Kelly. Kluwer Academic Publisher.
- ROBINSON, J. (1962) : *Essays in the Theory of Economic Growth*. Macmillan, London.
- SEPPECHER, P. (2009) : “Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène,” Document de Travail 2009-11, Greqam.
- (2010) : “Dysfonctionnement bancaire, bulle du crédit et instabilité macroéconomique dans une économie monétaire dynamique et complexe,” *Revue économique*, 61(3).
- (2012a) : “Flexibility of wages and macroeconomic instability in an agent-based computational model with endogenous money,” *Macroeconomic Dynamics*, 16(s2), forthcoming.
- (2012b) : “Jamel : a Java Agent-based Macroeconomic Laboratory,” Document de Travail, Université de Nice Sophia Antipolis.
- SIMON, H. A. (1996) : *The Science of the artificial*. MIT press, Cambridge (MA).
- (2004) : *Les sciences de l’artificiel*. Gallimard, Paris.
- TESFATSION, L. (2006) : “Agent-based computational economics : a constructive approach to economic theory,” dans *Handbook of computational economics*, ed. L. Tesfatsion, et K. L. Judd, vol. 2. Elsevier/North-Holland, Amsterdam.

VALLÉE, T., ET M. YILDIZOGLU (2001) : “Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie,” Working Papers 2001-3, Equipe Industries Innovation Institutions, Université Bordeaux IV, France.